昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, August 2005, 48(4): 514-517　　ISSN 0454-6296

松阿扁叶蜂对不同树种挥发物的触角电位反应

张同心[1,2]，崔为正[3]，孙绪良[1]*，张卫光[1]，梁中贵[1]

(1. 山东农业大学植物保护学院，山东泰安 271018；2. 中国科学院动物研究所，北京 100080；
3. 山东农业大学林学院，山东泰安 271018)

摘要：用MS302生物信号记录分析系统，以顶端记录法测定松阿扁叶蜂成虫对不同树种挥发性物质的EAG反应。结果显示，该蜂成虫对其嗜好的油松、赤松、华山松挥发物的EAG反应敏感，雌成虫放电频率分别为45.2次/s、42.1次/s、42.3次/s，电位值依次为1.022 mV、1.139 mV、0.706 mV，但对其非寄主树种的侧柏挥发物反应微弱，对空气无反应。雌成虫对油松挥发物的不同气流量1.7 mL/s、17 mL/s、85 mL/s的放电频率和电位值分别为24.8次/s、45.2次/s、46.6次/s和0.533 mV、1.022 mV、1.316 mV，表明EAG反应程度因挥发物气流量浓度不同而变化。触角电位与选择性行为的测试结果基本一致，表明松阿扁叶蜂在寄主选择过程中，触角的嗅觉功能起着重要作用。

关键词：松阿扁叶蜂；松树；挥发物；触角电位；寄主选择

中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2005)04-0514-04

Electroantennogram responses of *Acantholyda posticalis* Matsumura to volatiles of different trees

ZHANG Tong-Xin[1,2], CUI Wei-Zheng[3], SUN Xu-Gen[1]*, ZHANG Wei-Guang[1], LIANG Zhong-Gui[1] (1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: With the MS302 analysis system for biological signals, the EAG response of *Acantholyda posticalis* Matsumura adult to volatiles of different tree species was assayed. The results showed that female *A. posticalis* adult was sensitive to *Pinus tabulaeformis*, *P. densiflora* and *P. armandi*, which it was addicted to. To volatiles of *Pinus tabulaeformis*, *P. densiflora* and *P. armandi*, the electrofrequency of the female adult was 45.2, 42.1 and 42.3 times per second, respectively and its electrovoltage was 1.022 mV, 1.139 mV and 0.706 mV, respectively. There was faint EAG response to the non-host tree specie *Platycladus orientalis*, and no response to the air. The electrofrequency of female adult to different flux (1.7 mL/s, 17 mL/s, 85 mL/s) of the volatiles of *P. tabulaeformis* was 24.8, 45.2 and 46.6 times per second, respectively; its electrovoltage was 0.533 mV, 1.022 mV and 1.316 mV, respectively. This indicated that the EAG response changed with the different flux of volatiles.

Key words: *Acantholyda posticalis* Matsmura; pine tree; volatile; electroantennogram; host selection

松阿扁叶蜂 *Acantholyda posticalis* Matsumura 是松树的重要食叶害虫之一，广泛分布于中欧、北欧、意大利、法国、英国、蒙古、日本、朝鲜和西伯利亚等诸多地区(萧刚柔，1991)；国内分布于山东、山西、黑龙江和吉林等地(范迪，1993)。该虫在林间不同松树上的发生程度存在较大差异，油松、赤松、黑松、樟子松、红松发生较重，而华山松、白皮松等则发生较少(萧刚柔，1991；范迪，1993)。其发生程度差异是否与松树品种有关，目前未见报道。笔者用嗅觉仪和风洞法观察了该虫对不同松树的选择性，并测定分析了不同松树挥发性物质与其寄主选择的关系，结果表明，松阿扁叶蜂对不同种松树选择性有显著差异。并通过触角电位(electroantennogram, EAG)测试，进一步验证该虫对不同树种的选择性差异是否

基金项目：山东农业大学科学基金项目(J01056)

作者简介：张同心，男，1978年生，中国科学院动物研究所博士生，从事昆虫行为学研究

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: xgsun@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2004-11-23；接受日期 Accepted: 2005-01-28

由嗅觉作用引起。此前的 EAG 研究多以植物气味的单组分刺激昆虫触角（杜永均等，1994；韩宝瑜等，2001），以此证明各气味组分的作用。而实际上昆虫的嗅觉作用是对植物气味化学图谱的综合识别，是一个非常复杂的辩识过程。以植物罕发性物质的单组分与全组分（原气味）刺激时 EAG 反应会有较大差异，所以，单组分刺激的 EAG 并不能完全客观地反映昆虫对植物选择的差异。当然，要明确气味各组分的作用，仍需单组分测试。本研究直接用不同树种的叶片挥发物刺激松阿扁叶蜂成虫触角，通过 EAG 变化，区别对不同树种挥发物的反应差异，并用同一树种单位时间内不同挥发物气流量刺激触角，以此证明挥发物气流量的变化与 EAG 反应的关系。

1　材料与方法

1.1　仪器

EAG 测试仪为广东药学院 20 世纪 90 年代末研制成功的 MS-302 多媒体生物信号记录分析系统，该系统是与电脑连机的 3 通道生理信号测量分析装置，是新一代智能化生理信号测定仪器，代替了原触角电位测定仪中的放大器、示波器、记录器、刺激器和照相机等。该测试仪可同时从生物体内或离体器官中获取电活动的模拟信号，经过信号调节，采样保持，模式转换，离散为数值后由微机处理，记录放电信号，显示电位图，统计放电脉冲频率和放电强度的平均值。放电脉冲频率和放电强度分别反映了触角产生动作电位的兴奋细胞的数量和感受细胞的感应强度。其放电脉冲频率和电位值（放电强度）大小代表触角感受细胞对气味源的敏感程度。

1.2　操作

利用安装在微机上的 MS302 生物信号记录分析系统，以顶端记录法测定（崔为正等，2002）。取内径 2 mm 的玻璃管，将一端拉细，制成玻璃微电极，切去顶端，使切口的内径适于套入触角端部，灌注 0.2 mol/L NaCl 电极液于玻璃微电极，通入直径 0.2 mm 的信号线作为记录电极。取羽化当天的雌、雄成虫，剪下头部，然后沿触角中间将头部剪开，用解剖针挑除其内部肌肉，从头部切口插入一根信号线至触角基部，作为参比电极，然后剪除触角端部 1 节（刘安西等，1990；曹宛虹等，2002；方宇凌等，2002）。借助微动操作装置，将玻璃微电极套入触角的端部，将两电极通过三芯信号输入线与微机测试系统连接。然后以植物气味源的气流刺激触角，观察放电信号，通过微机记录信号并进行处理。取刺激开始后 3～4 s 的电信号作为 EAG 反应信号。用气泵、活性炭瓶、材料瓶（气味源）、气流计和微细玻璃管连接成气味源气流控制装置。将供试树种的新鲜枝叶放入材料瓶，开启气泵，空气经活性炭过滤洁净后进入材料瓶，再经过气流计控制玻璃管气流流出量，将玻璃管在距触角 1 cm 处刺激 3 s，观察触角电位反应。测定在 23～25℃下进行。

1.3　雌、雄成虫对不同树种相同气流量的 EAG 反应

用油松 *Pinus tabulaeformis*、赤松 *Pinus densiflora*、华山松 *Pinus armandi*、雪松 *Cedrus deodara* 和侧柏 *Platycladus orientalis* 挥发物气流（流量均为 17 mL/s）分别刺激成虫触角，记录放电信号，统计放电脉冲频率和放电强度的平均值。比较不同树种间试虫的 EAG 反应差异。雌、雄试虫各重复 10 次。

1.4　雌成虫对同一树种不同气流量的 EAG 反应。

以油松挥发物气流 1.7 mL/s、17 mL/s、85 mL/s 三个流量刺激雌成虫触角，观察放电信号，并统计放电脉冲频率和放电强度的平均值，比较不同挥发物气流量对 EAG 反应的差异。重复 10 次。

1.5　数据统计处理方法

对所测数据用‘DMRT’法进行 F 检验，求出在 F0.05 水平上的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　成虫对不同树种叶片挥发物的 EAG 反应

用油松、赤松、华山松、雪松针叶和侧柏鳞叶挥发性物质分别刺激松阿扁叶蜂雌、雄成虫触角，所产生的 EAG 反应明显，但雌、雄差异不大。松阿扁叶蜂成虫 EAG 显示，该叶蜂触角对空气无反应，对其非寄主树种的侧柏反应微弱；但对其嗜好的油松、赤松和华山松反应强烈。

以雌虫为例，对油松、赤松和华山松的放电频率（图 1：A）分别为 45.2、42.1、42.3 次/s，电位值（图 1：B）依次为 1.022、1.139、0.706 ms，显著强于对侧柏的反应。表明油松、赤松、华山松的气味引起了松阿扁叶蜂触角较多感受细胞的兴奋反应，对这些树种敏感，具有较强的趋向性，而对侧柏则相反。

雪松多为城市园林绿化树种，林间极少栽植，该蜂对其是否危害未见报道。根据本研究的 EAG 反应，其雌虫对雪松的放电频率为 39.5 次/s，电位值

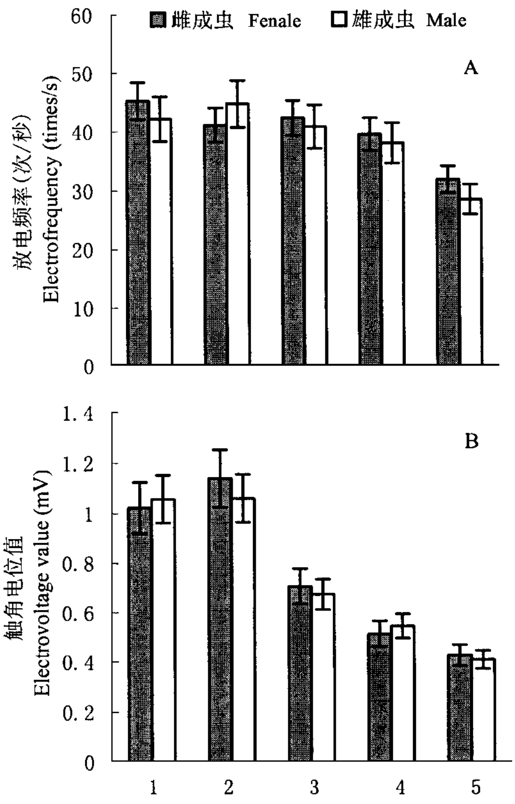

图8 松阿扁叶蜂对不同树种的EAG反应

Fig. 8 EAG response of adult *A*. *posticalis* to different plants

1：油松 *P*. *tabulaeformis*；2 赤松 *P*. *densiflora*；3：华山松 *P*. *armandi*；4 雪松 *C*. *deodara*；5：侧柏 *P*. *orientalis*

为0.514 mV，弱于前3种松树。据此推测，雪松可能不是松阿扁叶蜂的嗜好树种。该推论与嗅觉仪和风洞法测试成虫对不同树种选择性的结果一致。

Y型嗅觉仪测试结果表明：雌成虫对油松、赤松和黑松表现出较高的趋性，选择率依次为63.1%、66.3%、68.7%，其次是华山松为56.7%；而对雪松和侧柏的选择率则分别为33.7%、31.3%。测试过程中观测到，松阿扁叶蜂成虫被放入嗅觉仪后，将头部略抬起，触角成80度的角度伸向前方，并以极快的频率振动。成虫沿管中央时左时右逆气流方向运动，运动过程中有时停顿，并有以两前足跗节擦拭触角的行为。在两臂交叉处略作停顿，随后进入其中一臂。用风洞法观测到趋向的雌成虫快速飞向供试树种枝叶，并在其上爬行活动，有少数个体停留数分钟后爬到周围的风洞壁上。有的个体沿玻棒爬向供试树种枝叶，爬行过程中的行为与在Y型嗅觉仪中相似，但到达寄主所需时间较长。对寄主油松、赤松、华山松、黑松、雪松和侧柏的趋向性，依次为69.5%、66.0%、66.5%、66.0%、51.0%、44.0%。对两种方法所测数据用‘DMRT’法进行显著性检验，在F0.05水平上差异显著。说明雌成虫对不同针叶树种的选择性存在显著差异。

触角电位与选择性的测试结果基本一致，表明松阿扁叶蜂在寄主选择过程中，触角的嗅觉功能起着重要作用。由此形成了不同树种间的受害差异。

2.2 雌成虫对油松挥发物不同气流量的EAG反应

分别以1.7 mL/s、17 mL/s、85 mL/s气流量刺激雌成虫触角，EAG反应结果如表1所示。

表1 雌成虫对不同流量油松针叶挥发物的EAG反应

Table 1 EAG response of female *A*. *posticalis* to different current of volatile of *P*. *tabulaeformis*

刺激源流量 Current of stimulation source (mL/s)	放电频率(次/s) Electrofrequency (times/s)	电位值 Electrovoltage (mV)
1.7	24.8 ± 4.5 b	0.533 ± 0.091 c
17	45.2 ± 3.3 a	1.022 ± 0.098 b
85	46.6 ± 3.0 a	1.316 ± 0.052 a

注 Notes：平均数±标准差，字母不同表示差异显著（*F* 检验，*P* = 0.05）。The data in the table are mean ± *SE*. Different letters indicate significant difference (*F* test, *P* = 0.05).

结果表明，油松挥发物气流量为17 mL/s和85 mL/s时，触角放电频率分别为45.2 ± 3.3次/s和46.6 ± 3.0次/s，两者无显著差异，而流量为1.7 mL/s时，放电频率仅为24.8 ± 4.5次/s，与前两者相比差异显著。1.7 mL/s、17 mL/s、85 mL/s气流量下产生的电位值依次为0.533 ± 0.091 mV、1.022 ± 0.098 mV、1.316 ± 0.052 mV，与放电频率的趋势一致。表明触角感受细胞的兴奋反应程度因挥发物气流量浓度的不同而变化，但气流量为17 mL/s和85 mL/s的放电频率无显著差异，电位值差异仍较大。

3 讨论

本研究用不同树种的叶片挥发物直接刺激松阿扁叶蜂成虫触角，通过EAG变化，区别对不同树种挥发物全组分的反应差异，但未进行单组分测定，因此，尚不能解释松阿扁叶蜂对不同松树选择性差异与松树挥发性气味物质具体组分的关系。

根据油松挥发物不同气流量的测试结果，笔者认为可以解释松阿扁叶蜂在纯林和混交林发生程度差异的原因，即纯林内的松树挥发物被来自其他植物挥发物的干扰较少，相对浓度高，易被松阿扁叶蜂成虫辩识，便于较快地直接到达松梢产卵繁殖，因而发生较重。而混交林内则由于其他树种植物挥发物的影响，松树挥发物的浓度较低，而且是复杂的混合

物，不易被阿扁叶蜂成虫辩识，加之表观度对其视觉作用的影响，增加了对寄主植物搜索的难度，不利于其直接到达松梢，因此，发生危害较轻。

参考文献（References）

Cao WH，He HJ，2002. Identification of sexpheromone of the moth，*Tyta luctuosa*. *Acta Entomologica Sinica*，45(2)：30－34. [**曹宛虹，何洪巨**，2002. **旋花蛾性信息素成分的鉴定. 昆虫学报**，45(2)：30－34]

Cui WZ，Mu ZM，Wang YW，Xu JL，2002. Individual differences in gustatory electrophysiological responses of the silkworm *Bombyx mori*. *Acta Entomologica Sinica*，45(1)：41－46. [**崔为正，牟志美，王彦文，徐俊良** 2002. **家蚕味觉电生理反应的个体差异. 昆虫学报**，45(1)：41－46]

Du YJ，Yan FS，Han XL，Zhang GX，1994. Olfaction in host plant selection of the soybean aphid *Aphis glycines*. *Acta Entomologica Sinica*，37(4)：385－392. [**杜永均，严福顺，韩心丽，张广学**，1994. **大豆蚜嗅觉在选择寄主植物中的作用. 昆虫学报**，37(4)：385－392]

Fan D，1993. Fauna of Shandong Forest Insect. Beijing：China Forestry Publishing House. 526－527. [**范迪**，1993. **山东林木昆虫志. 北京：中国林业出版社**. 526－527]

Fang YL，Zhang ZN，2002. Influence of host-plant volatile components on oviposition behavior and sex pheromone attractiveness to *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*，45(1)：63－67. [**方宇凌，张钟宁**，2002. **植物气味化合物对棉铃虫产卵及田间诱蛾的影响. 昆虫学报**，45(1)：63－67]

Fang YL，Yang XL，Xiao C，Zhang ZN，2004. Electroantennogram resoponses of female *Helicoverpa armigera* to the volatile components of wheat blossom. *Acta Entomologica Sinica*，47(2)：269－272. [**方宇凌，杨新玲，肖春，张钟宁**，2004. **棉铃虫雌蛾对小麦花挥发性气味的触角电位反应. 昆虫学报**，47(2)：269－272]

Fan WM，Sheng CF，Su JW，2003. Electrophysiological and behavioral responses of both sexes of the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera* Hübner to sex pheromones. *Acta Entomologica Sinica*，46(2)：138－143. [**范伟民，盛承发，苏建伟**，2003. **棉铃虫成虫对性信息素的电生理和行为反应研究. 昆虫学报**，46(2)：138－143]

Han BY，Zhang ZN，Fang YL，2001. Electrophysiology and behaviour feedback of diamondback moth，*Plutella xylostella*，to volatile secondary metabolites emitted by Chinese cabbage. *Chinese Science Bulletin*，46(16)：1 384－1 387. [**韩宝瑜，张钟宁，方宇凌**，2001. **小菜蛾对白菜挥发性次生物质的触角电生理和行为反馈. 科学通报**，46(16)：1 384－1 387]

Liu AX，Chen ST，1990. Research Method in Insect Electrophysiology Experiment. Beijing：Science Press. 92－99. [**刘安西，陈守同**，1990. **昆虫电生理学实验研究法. 北京 科学出版社**. 92-99]

Fitzpatrick SM，Troubridge JT，Maurice C，2004. Pheromone released from polyvinyl chloride dispensers disrupts mate-finding and pheromone-source location by *Rhopobota naevana* (Lepidoptera：Tortricidae) in cranberries. The *Canadian Entomologist*，136(1)：91－109.

Xiao GR，1991. Forest Insects of China. 2nd ed. Beijing：China Forestry Publishing House. 1 147－1 149. [**萧刚柔主编**，1991. **中国森林昆虫(第二版). 北京：中国林业出版社**. 1 147－1 149]

Yan ZL，Fang YL，Sun JH，Zhang ZN，2004. Identification and electroantennal olfactory and behavioral tests of hindgut produced volatiles of the red turpentine beetle，*Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera：Scolytidae). *Acta Entomologica Sinica*，47(6)：695－700. [**闫争亮，方宇凌，孙江华，张钟宁**，2004. **红脂大小蠹后肠挥发性物质的鉴定、触角电位和室内趋向实验. 昆虫学报**，47(6)：695－700]

（责任编辑 袁德成）